

High aperture objective lens

Patent number: DE10108796

Publication date: 2002-09-05

Inventor: MATTHAE MANFRED (DE); SCHREIBER LOTHAR (DE); FAULSTICH ANDREAS (DE); KLEINSCHMIDT WERNER (DE)

Applicant: ZEISS CARL JENA GMBH (DE)

Classification:

- **International:** G02B21/02; G02B21/02; (IPC1-7): G02B21/02; G02B9/62; G02B13/00

- **European:** G02B21/02

Application number: DE20011008796 20010221

Priority number(s): DE20011008796 20010221

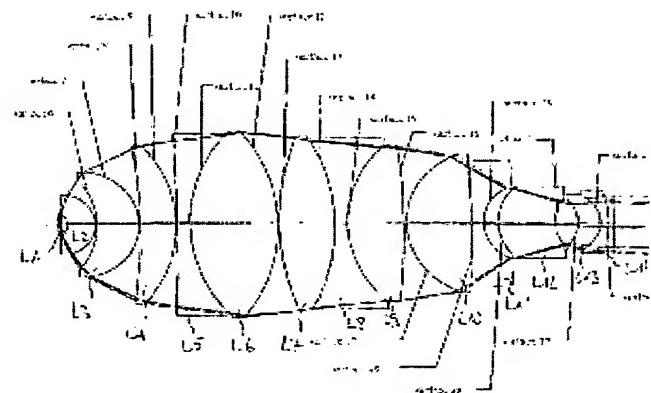
Also published as:

- WO02067038 (A1)
- EP1362256 (A1)
- US6504653 (B2)
- US2002154414 (A)
- EP1362256 (B1)

[Report a data error](#) [help](#)

Abstract of DE10108796

The invention relates to a high aperture objective, consisting of a first lens (L1) with positive refractive power (f1) and a second lens (L2) with negative refractive power (f2), wherein the focal depth ratio between both lenses lies in the range of $-0.4 < (f_1/f_2) < -0.1$ and the total refractive power $1/f_1 + 1/f_2$ is larger than zero. Said objective also comprises two positive lenses (L3, L4) whose ratio diameter (d_3, d_4) to focal depth (f_3, f_4) fulfills the requirement of being greater 0.3 and smaller 0.6: $0.3 < d_3/f_3 < 0.6$, $0.3 < d_4/f_4 < 0.6$, in addition to a negative lens (L5) and a positive lens (L6), wherein the negative lens faces the front group and the focal length ratio of L5 and L6 f_5/f_6 lies between -0.5 and -2 : $-0.5 > f_5/f_6 > -2$.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Offenlegungsschrift**
(10) **DE 101 08 796 A 1**

(51) Int. Cl.⁷:
G 02 B 21/02
G 02 B 9/62
G 02 B 13/00

(21) Aktenzeichen: 101 08 796.9
(22) Anmeldetag: 21. 2. 2001
(43) Offenlegungstag: 5. 9. 2002

(71) Anmelder:
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

(72) Erfinder:
Matthä, Manfred, Dipl.-Ing., 07747 Jena, DE;
Schreiber, Lothar, Dr.rer.nat., 07747 Jena, DE;
Faulstich, Andreas, Dr.rer.nat., 37077 Göttingen,
DE; Kleinschmidt, Werner, 37139 Adelebsen, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE	28 28 173 C2
US	59 82 559 A
US	57 39 958 A
US	55 30 590 A
US	42 32 940 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Hochaperturiges Objektiv

(57) Hochaperturiges Objektiv, bestehend aus einer ersten Linse L1 mit positiver Brechkraft f1 und einer zweiten Linse L2 mit negativer Brechkraft f2, wobei das Brennweitenverhältnis zwischen beiden Linsen im Bereich $-0,4 < (f1/f2) < -0,1$ liegt und die Gesamtbrechkraft $1/f_1 + 1/f_2$ größer Null ist. Zwei positive Linsen L3, L4, deren Verhältnis "Durchmesser d3, d4 zu Brennweite f3, f4" jeweils der Forderung genügt, größer 0,3 und kleiner 0,6 zu sein: $0,3 < d3/f3 < 0,6$, $0,3 < d4/f4 < 0,6$. einer Negativlinse L5 und einer Sammellinse L6, wobei die Negativlinse der Frontgruppe zugewandt ist und das Brennweitenverhältnis von L5 und L6 f_5/f_6 zwischen -0,5 und -2 liegt: $-0,5 < f_5/f_6 < -2$.

DE 101 08 796 A 1

Beschreibung

- [0001] Die Apertur ist ein wesentliches Kriterium zur Kennzeichnung der Leistungsfähigkeit von Mikroobjektiven. Sie ist das Produkt aus dem Sinus des halben Öffnungswinkels und der Brechzahl der Immersionsflüssigkeit bei Immersionsanwendungen.. Insbesondere bei sogenannten TIRF-Anwendungen (Total Internal Reflection Fluorescence), wo die Totalreflexion ausgenutzt wird, um Fluoreszenzen in einer Grenzschicht zu beobachten, ist der Öffnungswinkel von Bedeutung. Bei der Fluoreszenzanregung durch Totalreflektion (TIRF) wird das Objektiv in wässriger Probenumgebung benutzt. Es wird kollimiertes Licht an einer Stelle in der Pupille des Objektives eingekoppelt, die einer Apertur von > 1,38 entspricht. Diese Apertur liegt über dem Grenzwinkel der Totalreflektion des Deckglas-Wasser Übergangs, d. h. das eingeschossene Licht wird durch Totalreflektion an der Grenzfläche zurückgeworfen; unmittelbar über der Grenzschicht entsteht dabei eine sog. evanescente Lichtwelle, deren Eindringtiefe im Wasser nur in der Größenordnung der Lichtwellenlänge liegt. Damit ist tiefenselektive Fluoreszenzanregung von Objekten in unmittelbarer Nähe der Grenzschicht möglich.
- [0002] Bisherige Patentveröffentlichungen zu Mikroskopobjektiven mit Normalimmersionen überschreiten nicht wesentlich Aperturen von mehr als 1,4. Die in der Patentliteratur beschriebenen höheraperturigen Systeme (> 1,4) realisieren diese über die Brechzahl der Immersionsflüssigkeit (n ca. 1,78) (US Patent 5,659,425).
- [0003] Immersionsflüssigkeiten dieser Art haben aber erhebliche Nachteile, so daß sie in der Praxis nur selten angewendet werden (giftig, inhomogen u. a.).
- [0004] Zudem muss auch das Deckglasmaterial im Brechungsindex angepaßt sein, was zusätzliche Kosten verursacht.
- [0005] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Objektiv mit hoher Apertur und einfacherem Aufbau zu realisieren.
- [0006] Die vorliegende Erfindung realisiert einen überraschend großen Öffnungswinkel bei einfacherem Aufbau, d. h. gegenüber anderen Mikroobjektiven gilt, daß der Quotient aus der numerischen Apertur und dem Brechungsindex des Immersionsöls (normale Immersionsöle ca. 1,5) nicht übertroffen wird.
- [0007] Mit normalen Immersionsölen ($n[546 \text{ nm}] = 1,52$) hat die Apertur in der Achse einen Wert von etwa 1,45 und am Feldrand ($2y' = 20 \text{ mm}$) immer noch einen Wert von etwa 1,43. Durch die hohe Öffnung erhält man wesentliche Vorteile, wie bessere Detailauflösung und höhere Lichtstärke.

Ausführungsbeispiel

- [0008] Erreicht werden die o. g. extremen Leistungsmerkmale durch einen optischen Aufbau, der wie folgt gekennzeichnet ist:
Hochaperturiges Objektiv, gekennzeichnet durch die Bedingung $A/n > 0,938$, wobei A die Apertur und n die Brechzahl des Immersionsmittels bei 546 nm ist.
- [0009] In Fig. 1 ist ein erfundungsgemäßes Objektiv schematisch dargestellt, in Fig. 2 sind die vorderen Linsengruppen (Frontgruppe) vergrößert dargestellt.
- [0010] Die Frontgruppe besteht aus einer Linse L1 mit positiver Brechkraft f1 und niedrigem Brechungsindex ($n[546 \text{ nm}] < 1,6$), welche in eine Linse mit negativer Brechkraft f2 und hohem Brechungsindex ($n[546 \text{ nm}] > 1,7$), eingebettet verkittet ist. Das Brennweitenverhältnis zwischen beiden Linsen liegt im Bereich $-0,4 < (\text{Brennweite } f1)^+ < -0,1$. Die Gesamtbrechkraft der Gruppe ist positiv.
- [0011] Zur Minderung des Öffnungswinkels folgen der Frontgruppe zwei Sammellinsen L3, L4 deren Verhältnis "Durchmesser d3, d4 zu Brennweite f3, f4 jeweils der Forderung genügt, größer 0,3 und kleiner 0,6 zu sein.
- [0012] Die nachfolgende Gruppe besteht aus einer Negativlinse L5 und einer Sammellinse L6, wobei die Negativlinse der Frontgruppe zugewandt ist. Das Brennweitenverhältnis beider Linsen f5 : f6 liegt zwischen -0,5 und -2.. Die Gesamtbrechkraft dieser Gruppe ist positiv.
- [0013] Die nächste Gruppe besteht aus 3 verkittenen Linsen L7, L8, L9 mit positiver Gesamtbrechkraft und Einzelbrennweiten $f7 > 0$, $f8 < 0$ und $f9 > 0$ denen sich 5 weitere zum Teil verkitte Linsen L10, L11, L12, L13, L14 anschließen, welche überwiegend zum Ausgleich von Feldfehlern wirken. Zwischen L11 und L12 sowie L12 und L13 befindet sich ein Luftabstand.
- [0014] Das unten beschriebene Beispiel der Daten eines Tubuslinsenbeispiels kann durch andere Beispiele ersetzt werden, es dient dem Ausgleich von Restfehlern (z. B. Farbdifferenzen) im auf unendlich korrigierten Objektiv, andere Tubuslinsen können vom Anwender mit dem beschriebenen Objektiv kombiniert werden, wenn deren Korrektion nicht konträr den Korrektionsanforderungen des beschriebenen Objektivs entgegengerichtet ist."
- [0015] Das beschriebene Objektiv realisiert in der Achse und bis zum Bildfeld von $2y' = 20 \text{ mm}$ eine excellente optische Korrektur. Die Apertur beträgt 1,45 bei einer 100-fachen Vergrößerung.
- [0016] Achromasie besteht zwischen den Wellenlängen C' und F', wobei das verbleibende sekundäre Spektrum innerhalb des Tiefenschärfenbereiches liegt. Die Verzeichnung ist minimal.

Systemdaten eines Designbeispiels

- [0017] Das vorgestellte Mikroobjektiv wurde mit einem Deckglas der Dicke 0,17 mm korrigiert. Der Abstand Deckglas 1. Linsenfläche beträgt 0,12 mm.

DE 101 08 796 A 1

Fläche	Radien	Distanzen	Medium	
1	Unendlich	0,17	Deckglas	
2	Unendlich	0,12	Immersionsoel	5
3	Unendlich	0,6	N-BK7	
4	-1,2579	2,5	N-LASF31	10
5	-2,778	0,1	Luft	
6	-6,5423	3,64	N-FK51	
7	-4,9407	0,1	Luft	15
8	-44,666	3,09	N-PK51	
9	-11,14	0,103	Luft	
10	-139,25	1,11	N-KzFS4	20
11	12,23	7,76	N-PK51	
12	-13,925	0,1	Luft	25
13	21,754	4,87	Flußspat	
14	-15,961	1,16	N-KzFS4	
15	9,8584	4,87	N-PK51	30
16	-51,958	0,205	Luft	
17	6,7777	5,83	N-PK51	
18	-93,056	1,1	N-KzFS4	35
19	3,5485	1,306	Luft	
20	4,5281	4,85	N-PK51	40
21	3,759	1,907	Luft	
22	-3,1612	1,92	SF2	
23	-2,8175	0,73	N-FK51	45
24	-8,1748	96,419	Luft	
mit Tubuslinse				50
25	147,49	6	BaF3	
26	-273,84	1,93	Luft	
27	Unendlich	161,2	BK7	55
28	Unendlich	54	Luft	
				60
				65

DE 101 08 796 A 1

Durchmesser

Fläche	Freier Durchmesser
1	0,2
2	1,35
3	2
4	2,16
5	5,54
6	8,69
10	9,88
8	14,30
9	14,90
10	15,84
11	17,06
15	17,54
13	16,50
14	16,07
15	14,73
16	14,63
20	13,00
18	11,83
19	6,74
20	6,85
21	4,51
25	4,47
23	5,20
24	5,83

Toleranzen

Radientoleranzen(Passe) < 4 Newtonringe
 Abweichungen bei Dicken und Abständen < 0,06 mm
 Maximale Brechzahlabweichungen +/-0,0005

- 35 [0018] In Fig. 3 ist die Modulationsübertragungsfunktion (Achspunkt, Wellenlänge 546 nm): dargestellt.
 [0019] Die Modulationsübertragungsfunktion (MÜF) ist ein international anerkanntes Kriterium zur Analyse und Darstellung der Leistungsfähigkeit von optischen Systemen. Sie beschreibt mit welchem Kontrast eine Menge von Linienpaaren noch aufgelöst wird. Die Anzahl der Linienpaare pro mm steht in der Abszissenachse, während die Ordinatenachse den Kontrast von 0 (kein Kontrast) bis 1 (voller Kontrast) anzeigt. Da die Auflösung stark von der Apertur abhängt,
 40 belegt die angegebene MÜF die extrem große Öffnung des Erfindungsobjektivs. Die Angaben beziehen sich auf den Achspunkt im Zwischenbild. Im Objektraum ist die Zahl der aufgelösten Linienpaare um den Faktor 100 (Abbildungsmäßig) größer.

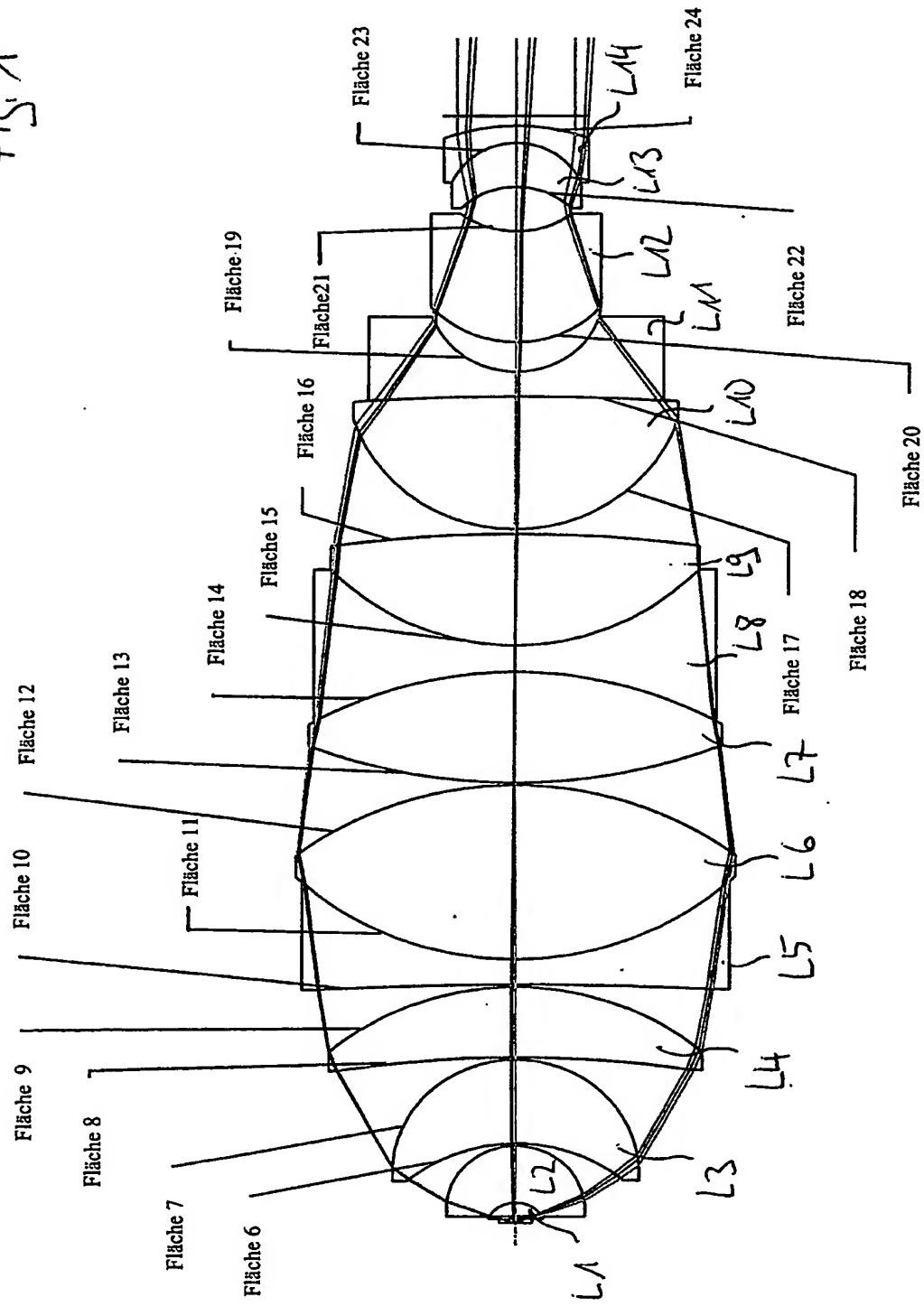
Patentansprüche

- 45 1. Hochaperturiges Objektiv, bestehend aus einer ersten Linse L1 mit positiver Brechkraft f1 und einer zweiten Linse L2 mit negativer Brechkraft f2 wobei das Brennweitenverhältnis zwischen beiden Linsen im Bereich $-0,4 < (f1/f2) < -0,1$ liegt und die Gesamtbrechkraft $1/f1 + 1/f2$ größer Null ist,
- 50 2. Objektiv nach Anspruch 1, mit einer weiteren Gruppe bestehend aus vorzugsweise 3 verkitteten Linsen L7, L8, L9 mit positiver Gesamtbrechkraft und einer Einzelbrechkraftfolge Positiv-Negativ-Positiv denen sich vorzugsweise 5 weitere zum Teil verkittete Linsen L10, L11, L12, L13, L14 anschließen, welche überwiegend zum Ausgleich von Feldfehlern wirken.
- 55 3. Objektiv nach Anspruch 2, wobei sich zwischen L11 und L12 sowie L12 und L13 ein Luftabstand befindet.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1



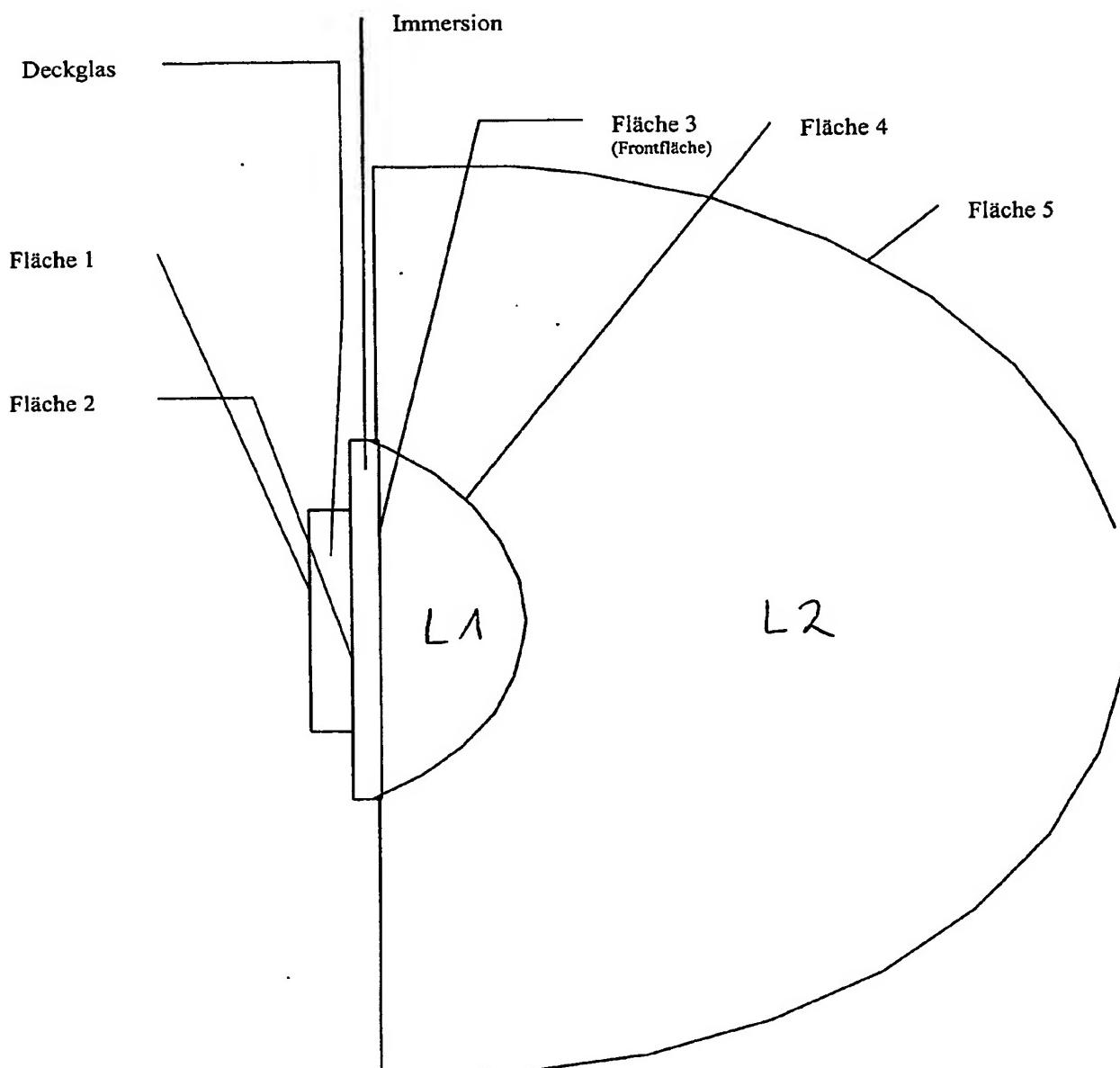
Darstellung Objektraum mit Frontlinse

Fig. 2

Modulationsübertragungsfunktion (Achspunkt, 546nm):

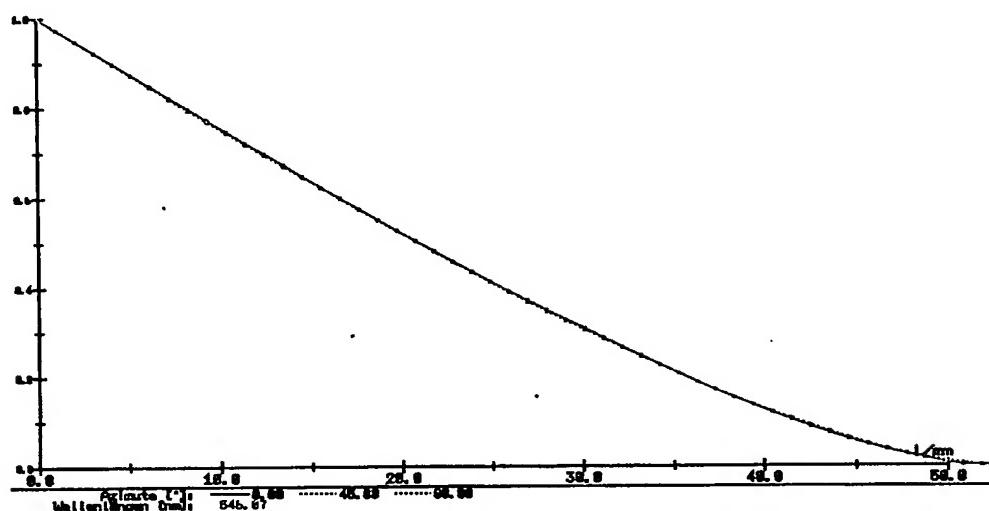


Fig. 3